

## 未利用バイオマスのリサイクルに関する研究：野菜・果物残渣のコンポスト化実証試験（Ⅰ. 研究報告）

著者	山本 希, 丹内 正樹, 中井 裕
雑誌名	複合生態フィールド教育研究センター報告 = Bulletin of Integrated Field Science Center
巻	26
ページ	9-12
発行年	2010-12
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/50579">http://hdl.handle.net/10097/50579</a>

# 未利用バイオマスのリサイクルに関する研究 —野菜・果物残渣のコンポスト化実証試験—

山本 希<sup>1</sup>・丹内 正樹<sup>2</sup>・中井 裕<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院農学研究科 環境システム生物学分野, <sup>2</sup> 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター

Research on waste biomass recycling: the two-year trial for composting of residues of fruits and vegetables

Nozomi Yamamoto, Masaki Tannai, Yutaka Nakai

キーワード：コンポスト化, 未利用バイオマス, 実規模施設

## 1. はじめに

バイオマスとは、生物資源 (bio) の量 (mass) を表す概念で、「再生可能な、生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」である (バイオマス・ニッポン総合戦略, 2006)。2006 年に国内で策定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」によれば、循環型社会の形成、農林漁業・農山漁村の活性化、地球温暖化の防止に向けて、バイオマスを総合的に最大限利活用し、持続的に発展可能な社会を実現することを目標としている。それには「未利用バイオマス」の利活用も含まれている。未利用バイオマスの代表である農作物の非食用部は、年間で約 1300 万 t 発生しているが、その利用率は 30%と、家畜排せつ物などの廃棄物系バイオマスの利用率 (約 90%) よりもはるかに低い (農林水産省, 2005)。このため、国内における未利用バイオマスの利活用の促進が重要であると考えられる。コンポスト化はすでに一般的しているバイオマス利用技術であり、バイオマスの再生産が可能であること、肥料として土壌に投入することにより、環境保全型農業を推進できることなどから、未利用バイオマスにおいても有効な技術であると考えられる。

トウモロコシの皮は、農作物非食用部の一つであり、日本国内においても年間で 244 万 t 発生すると推計される (バイオマス情報ヘッドクォーター, トウモロコシ

の収穫量のバイオマス推計量 H16 年度計算値より推計)。トウモロコシの皮はタンパク質、無機成分のほかに、難分解有機物であるリグノセルロース (セルロース, ヘミセルロース, リグニン) を含む (Hang and Woodams, 2000)。一部は家畜用飼料、繊維として利用されている。また国外においては畜ふんと混合して水素発酵することにより、水素を回収する研究 (Prakasham et al., 2009) や、コウジカビを用いたクエン酸の発酵生産への利用も検討されている (Hang and Woodams, 2000)。コンポスト化を行う場合、リグニンは初期には分解されず、また過程全体での分解率も低いため (Tuomela et al., 2000)、コンポスト化への利用が進んでいないのが現状である。

パイナップルの冠芽は、国内では販売時、あるいは消費時に除去される。一部は挿し木として繁殖に利用されているが、その割合は低い。冠芽はヘミセルロースやリグニンなどを含む。このため、パルプ製造の原料としての利用法が研究されている (Tran, 2006)。また、抽出されたポリフェノールが、薬や機能性成分素材などの原料として利用できる可能性が示されている (九州沖縄農業研究センター, 2003)。しかし、前述のようにリグノセルロースを含むことから、トウモロコシの皮と同様にコンポスト化は困難であった。

われわれはバイオプラスチックの生分解実験により、

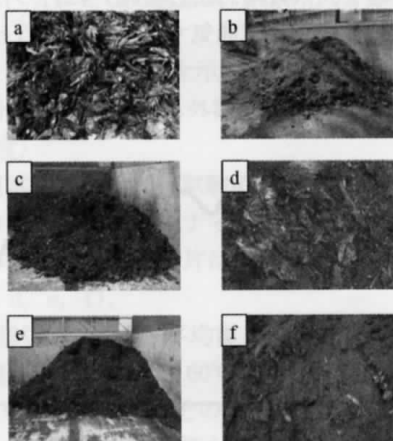


図1 2008年度堆積処理試験の様子  
a: 搬入時の残渣, b: 開始時 (4/25),  
c および d: 4/30, e および f: 終了時 (11/27)

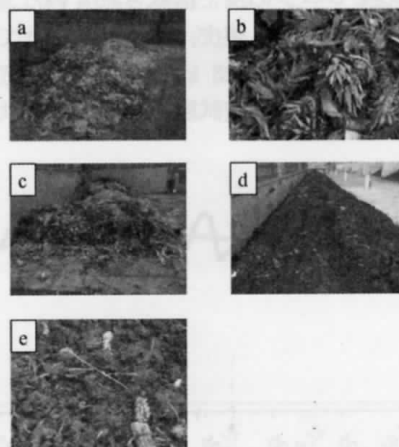


図2 2009年度攪拌処理試験の様子  
a および b: 搬入時の残渣, c: 開始直前 (8/4) の残渣,  
d および e: 開始直後 (8/18)

牛ふんコンポストとの混合によりバイオプラスチック分解が促進することを観察している (小堤ら, 2008)。バイオプラスチックの一部はセルロースを原料としているため (迫田ら, 2001), 上記の未利用バイオマスにおいても単独ではなく, 牛ふんコンポストとの混合により, その分解が促進されることが期待される。また, 実規模での試験を行うことにより, 実用的かつ効率的なコンポスト化処理条件を提言することができる。そこで, 上記の未利用バイオマスを牛ふんコンポストとともに実規模で処理し, コンポスト化が可能であるか, さらにコンポストとして利用できるかを試みることとした。

## 2. 材料と方法

### 1) コンポスト化施設

コンポスト化試験は, 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター (宮城県大崎市) に設置されている, オープン式堆肥化処理施設で行った。施設は 2004 年から, 同センター内で排出される牛ふんのコンポスト化処理を行っている。施設は床面, 壁の一部がコンクリート製である。屋根は半透明のポリカーボネイト製で遮光設備は無いが, 換気設備がある。施設内部は攪拌処理スペースおよび堆積スペースからなる。攪拌処理スペースは片側にのみ側壁がある約 80 m のレーンで, オープン式攪拌機 KS6-1800 (日環エンジニアリング, 宮城), ブローアおよび下部通気ラインを備えている。堆積スペースにはコンクリート製の隔壁が建造されており, 通気設備はない。

### 2) コンポスト化処理の原料および処理の条件

(2008 年度)

2008 年度の処理は, 2008 年 4 月 25 日から 11 月 27 日まで行った。

原料として, みやぎ生活協同組合店舗の農産部門で発生した農産物残渣 (以下では残渣と記す) を用いた。残渣は 2008 年 2 月 18 日から 2008 年 11 月 22 日まで受け入れ, 受け入れ量が多かったのは 6-9 月であった。残渣はおもにトウモロコシの皮で構成されていた。ただし一部にパイナップル冠芽, 筍皮, クリが含まれていた (図 1a)。受け入れ総量は 36,913 kg だった。残渣の水分は約 87%前後だったため, 堆積試験, 実規模試験共に水分含

量を約 70%以下に調整して処理を行うこととした。

処理試験は 2 種類行った。

#### ・堆積処理試験

処理は 2008 年 4 月 25 日から 11 月 27 日まで 216 日間行った。開始時は残渣を等量の肥育牛舎厩肥 (おもにオガクズ) と混合し堆積した。攪拌は週 1 回重機 (ホイールローダー) を用いて行った。下部通気は 1 時間おきに 1 時間通気する間欠式で行った。その後残渣を 5 月, 6 月, 7 月に月 1 回, 約 1,000 kg ずつ計 3 回追加投入した。残渣の最終投入後 4 週間攪拌処理し, その後 3 ヶ月間堆積のみの処理を行った。

#### ・攪拌処理実験

処理は 2008 年 4 月 18 日から 12 月 26 日まで, 攪拌処理レーンにおいて断続的に 252 日間行った。牛ふんコンポストに残渣を重量割合で 5%となるよう混合し, 処理を開始した。牛ふんコンポストは, 当フィールドセンターで飼養されている乳牛および肥育牛のふんにおがくずを副資材として混合し, 攪拌処理を約 1-2 ヶ月, 堆積処理を 2 ヶ月行ったものを用いた。攪拌は原則として週 2 回, 自動攪拌機を用いて行った。下部通気は前述と同様に行った。残渣と堆肥の混合物は 6 月 17 日, 7 月 29 日, 10 月 9 日の計 3 回追加投入した。残渣の最終投入後 8-10 週間攪拌処理を行い, その後堆積処理を 2 ヶ月間行った。

(2009 年度)

2009 年度の処理は, 2009 年 4 月 15 日から 2010 年 3 月まで行った。原料は前年度同様, みやぎ生活協同組合店舗で発生した残渣であった。2009 年 4 月 15 日から 2009 年 12 月 29 日まで, 6-8 月を中心に受け入れた残渣を用いた。残渣はおもにトウモロコシの皮で構成されていた。そのほかレタス葉, パイナップル冠芽, 筍皮が含まれていた (図 2a および b)。受け入れ総量は 21,980 kg だった。

コンポスト化処理は攪拌処理のみで 3 回行った。開始時は牛ふんコンポストの上部に受け入れた残渣を堆積し, 攪拌機で攪拌した。用いた牛ふんコンポストは, 当センターで飼養されている乳牛および肥育牛のふん, わら, バークを原料として作成されたものである。攪拌は原則として週 2 回 (月曜および金曜) に行った。下部通気は 1 時間おきに 1 時間通気する間欠式で行った。処理の詳細を表 1 および以下に示す。

#### ・コンポスト①

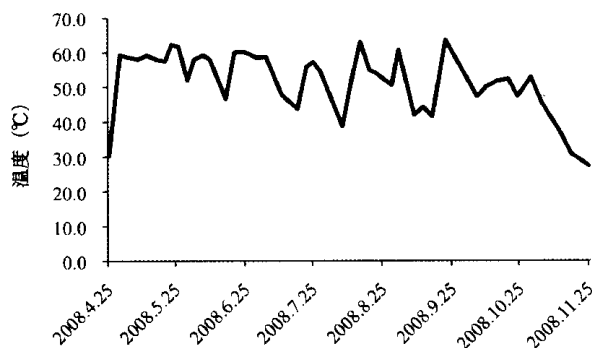


図 3 2008 年度堆積処理試験における温度変化

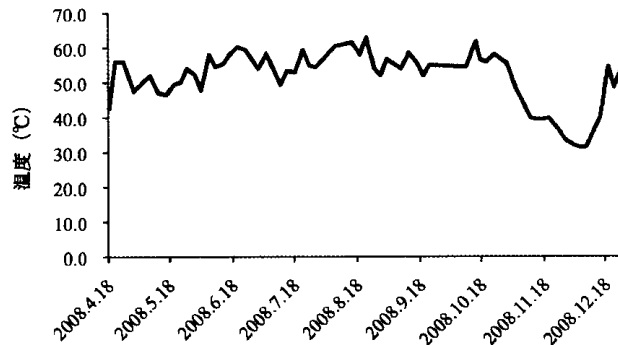


図 4 2008 年度攪拌処理試験における温度変化

2009年5月27日受け入れ分までの計1,430 kgを牛ふんコンポストに加え、攪拌処理を行った。

#### ・コンポスト②

2009年6月6日から8月4日受け入れ分までの計13,190 kgを、牛ふんコンポスト約116,100 kgと混合し、8月12日から10月14日まで63日間処理を行った（図2cおよび2d）。処理過程では温度測定および成分分析などのモニタリングを行った。

#### ・コンポスト③

2009年8月14日から12月29日受け入れ分までの計7,360 kgを、随時牛ふんコンポストと混合、処理した。2010年3月末にはすべての処理を終了した（図2e）。

### 3) 温度、水分量の計測および成分分析

#### ・温度計測

堆積処理試験においては、コンポスト山の4カ所にお

表1 2009年度攪拌処理試験の概要

	コンポスト処理系列		
	①	②	③
残滓重量 (kg)	1,430	13,190	7,360
コンポスト重量 (kg)	未計量	116,110	未計量
処理日数	未計測	63	約90-180

いて深さ30 cmの温度を計測し、その平均値を算出した。攪拌処理試験においては、レーンの縦方向に沿って4-5地点を温度計測地点とした。さらに1地点における測定は、攪拌機と平行に4カ所で行い、平均値を1地点の平均温度として算出した。

#### ・成分分析

成分分析は、十勝農業協同組合連合会農産化学研究所（北海道帯広市）に依頼した。分析用の試料は、処理終了時に6カ所から採取し混合したものを用いた。2009年度はコンポスト②の処理開始51日目に採取した。分析項目は一般成分として水分量、全窒素、全炭素、リン（ $P_2O_5$ ）、カルシウム（CaO）、マグネシウム（MgO）、カリウム（ $K_2O$ ）、灰分、pH、ECおよび窒素成分として硝酸態窒素（ $NO_3^-N$ ）、アンモニア態窒素（ $NH_4^+-N$ ）を分析した。

## 3. 結 果

### 1) コンポスト化における外観の変化および温度変化

#### 〈2008年度〉

堆積処理試験において、試験の進行とともに原料であるトウモロコシの皮やパイナップル冠芽の原形は観察されなくなったが、一部の断片は処理終了時も観察された（図1b, c, d, e, f）。

堆積処理試験における平均温度の変化を図3に示す。温度は処理開始5日目で約60℃となり、攪拌を行った期間は42-62℃を推移した。その後の堆積のみの期間でも、200日目までは上記の温度帯を推移した。終了時は27.3℃だった。

攪拌処理試験における平均温度の変化を図4に示す。

温度は処理開始時の42.5℃から低下せず、11月まで47-62℃を推移した。11月以降は30℃代に低下したが、12月に再び最大で55℃に上昇した。

#### 〈2009年度〉

受入れた残渣は処理開始まで施設内に保管していたため、夏期の高温により一部嫌気発酵が始まり黒変した（図2c）。コンポスト②の処理開始時は約129,290 kgだったが、処理終了時は約89,250 kgとなり、開始時の約69%に減少した。処理の進行に伴い、用いたトウモロコシの皮およびパイナップル冠芽はほとんど観察されなくなった（図2dおよびe）。

温度は終了時をのぞき、処理開始直後から終了時まで、42-61℃を推移した。縦方向の計測地点による温度変化に明確な違いはなかったが、壁側の温度は低く、開放側の温度は高くなる傾向が示された（図5）。

### 2) 成分分析結果

分析したサンプル全ての分析結果を表2に示す。成分分析は、実規模試験のため一試験において一試料しか行っていない。当センターで日常的に生産されている牛ふんコンポストと比較して、硝酸態窒素量が多かったものの、他の各成分に明確な違いは認められなかった。腐熟の状態を示すC/N比は、全国農業協同組合連合会（JA）が作成した家畜ふん堆肥の品質基準（20以下）を満たしていた。全窒素、リン、カリウムにおいても、基準値（乾物当たり1%以上）を満たしていた。

## 4. 考 察

トウモロコシの皮およびパイナップル冠芽は、リグノセルロースを含み、分解が困難とされているが、厩肥あるいはコンポストと混合することにより、コンポスト化が可能であることが明らかとなった。重機による攪拌では分解は不十分であったが、機械攪拌では原型が認められないほど十分に分解された（図6）。

成分分析の結果では、当センターで製造されている牛ふんコンポストと著しく異なる成分は認められず、従来の牛ふんコンポストと遜色はなかった。これは残渣の混合率が重量で約10%と少なかったこと、残渣のおもな材料であったトウモロコシの皮、およびパイナップル冠芽に含まれる全窒素、リン、カリウムなどの成分が、牛

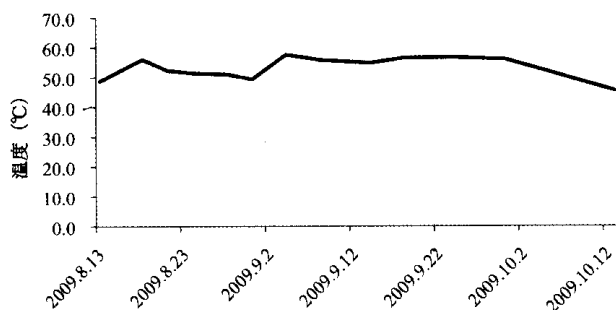


図5 2009年度攪拌処理試験における温度変化

ふんと大きな差がなかったため（中央畜産会，2000；Gaonkar and Kulkarni, 1989）と考えられた。

成分分析の結果は一試験における解析数が少なかったため，有意差を検定することができなかったが，処理試験間および牛ふんコンポストとの顕著な差は認められなかった。コンポストは肥料取締法で特殊肥料に分類されており，国内における公定規格は存在しないが，JA が作成した家畜ふん堆肥の品質基準（表 2）に照らすと，水分量，全窒素，リン，カリウム，C/N 比については基準を満たしていた。しかしカリウム含量は牛ふんコンポストの平均値（乾物中 2.4%，畜産環境整備機構，1997）よりも高かった。また，EC 値は基準値を大きく超えていた（基準値：5 mS/cm 以下）。当センターにおけるコンポスト化は，戻し堆肥を加えて処理を行っていること，また，ふんに比べてカリウム含量が多い（畜産環境整備機構，1997）尿も混合し処理していることから，カリウムが蓄積し，EC 値が高くなったと考えられる。土壌にカリウムを多量添加すると，カリウムが蓄積し，飼料作物によるカルシウムやマグネシウムの吸収割合は低下する。作物中のこれらの塩基バランス悪化は家畜にグラステタニー（低マグネシウム血症）発症の危険性を高めるため，本コンポストの多量の施用は上記の現象を招くおそれがある（畜産環境整備機構，1997）。今後の本コンポスト製造においては，適正な残渣混合割合の決定，貯蓄時の嫌気発酵の抑制法の検討など，課題はいくつか残るが，土壌投入量を考慮するなどで本コンポストは肥料として十分に使用可能であると考えられる。

引用文献

バイオマス情報ヘッドクォーター HP. とうもろこしの収穫量のバイオマス推計量. (<http://www.biomass-hq.jp/index.html>)

畜産環境整備機構. (1997) III 家畜ふん尿の利用. 家畜ふん尿処理・利用の手引き. pp. 57-73.

中央畜産会. (2000) 第 1 章堆肥化の基本. 堆肥化施設

設計マニュアル. pp. 1-30.

Gaonkar S.M., P.R. Kulkarni (1989) Biol. Waste., 29:153-156.

Hung Y.D. and E.E. Woodams (2000) Lebensm.-Wiss. u. - Technol., 33:520-521.

閣議決定. (2006) バイオマス・ニッポン総合戦略. ([http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18\\_senryaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/h18_senryaku.pdf))

九州沖縄農業研究センター研究報告. (2003) パインアップル未利用部分の総合利用. (<http://www.knaes.affrc.go.jp/seikadb/07/7-15.html>)

農林水産省 HP. バイオマスの利用状況. ([http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/riyo\\_zyokyo.pdf](http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/riyo_zyokyo.pdf))

小堤悠平・阿部孝・小田和賢一・中井裕 (2008) 日本畜産学会第 109 回大会講演要旨. pp 151.

Prakashama R.S., T. Sathish, P. Brahmaiaha, C.S. Rao, R. S. Rao and P.J. Hobbs (2009) Int. J. Hydrogen Energ., 34:6143-6148.

迫田章義・望月和博・安部郁夫・片山葉子・川井秀一・沢田達郎・棚田成紀・中崎清彦・中村嘉利・藤田晋輔・船岡正光・三浦正勝・吉田 孝 (2001) 環境科学会誌. 14:383-390.

Tran A.V. (2006) Ind. Crop. Prod., 24:66-74.

Tuomela M., M. Vikman, A. Hatakka and M. Itävaara (2000) Bioresour. Technol., 72:169-183.



図 6 2009 年度攪拌処理試験終了時のコンポスト③

表 2 コンポスト化処理終了時の成分分析結果

分析項目	2008 年度堆積試験	2008 年度攪拌試験	2009 年度攪拌試験	牛ふんコンポスト*	品質基準**	単位
水分量	40.160	66.390	63.620	61.550	70 以下	% (現物中)
全窒素	2.339	2.195	2.352	2.369	1 以上	% (乾物中)
全炭素	39.000	37.680	35.340	36.200	記載なし	% (乾物中)
C/N 比	16.670	17.160	15.020	15.280	20 以下	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.916	2.068	2.001	2.089	1 以上	% (乾物中)
CaO	1.484	1.580	1.460	1.844	記載なし	% (乾物中)
MgO	0.711	1.051	1.037	1.187	記載なし	% (乾物中)
K <sub>2</sub> O	5.317	4.753	4.635	5.016	1 以上	% (乾物中)
灰分	23.220	28.100	31.520	31.380	記載なし	% (乾物中)
pH	6.920	7.090	7.350	7.110	記載なし	現物
EC	13.110	10.950	11.970	12.420	5 以下	mS/cm (現物中)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	3010.033	1419.675	2097.876	1235.883	記載なし	ppm (乾物中)
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	73.161	61.431	269.985	267.260	記載なし	ppm (乾物中)

\*: センターで以前生産された牛ふんコンポスト，参考値

\*\*: 家畜ふん堆肥の品質基準（全国農業協同組合連合会作成，1995）